

Vanhojen, paalutettujen ratapenkereiden korjaus



RATAHALLINTOKESKUS
BANFÖRVALTNINGSCENTRALEN

Ratahallintokeskuksen
julkaisu A 8/2006

Vanhojen, paalutettujen ratapenkereiden korjaus

Helsinki 2006

Ratahallintokeskus

Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 8/2006

ISBN 952-445-157-3 (nid.)

ISBN 952-445-158-1 (pdf)

ISSN 1455-2604

Julkaisu pdf-muodossa: www.rhk.fi

Kannen ulkoasu: Proinno Design Oy, Sodankylä

Kansikuva: Jaakko Lammi

Helsinki 2006

Vanhojen, paalutettujen ratapenkereiden korjaus. Ratahallintokeskus, Rataverkko-osasto. Helsinki 2006. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 8/2006. 35 sivua ja 4 liitettä. ISBN 952-445-157-3, ISBN 952-445-158-1 (pdf), ISSN 1455-2604.

TIIVISTELMÄ

Rautatiepenkereiden perustamiseen alettiin Suomessa 1970-luvulla käyttää paaluhatturakenteita. Paaluhatturakenteiden avulla voitiin ratapenger rakentaa kovan pohjan varaan muuten vaikeasti rakennettaville pehmeikköalueille. Ajan myötä on havaittu, että käytetyt menetelmät eivät ole kaikilta osin soveltuneet tähän tarkoitukseen. Ongelmana on paaluhattujen alla olevan pehmeän maan painuminen sekä penger-materiaalin variseminen syntyneeseen tyhjään tilaan. Tämän seurauksena paaluhattuja on kallistunut ja rataosuuksia on jouduttu tukemaan ja korjaamaan.

Tässä raportissa pyritään esittämään syyt vaurioihin ja tarkastellaan eri menetelmiä, joiden avulla vaurioita on korjattu. Huomiota kiinnitetään myös siihen, miten vaurioituneet kohdat sekä vaurioiden laatu ja laajuus voidaan todeta. Työryhmä esittää myös raportissaan uusia mahdollisesti kehitettäviä menetelmiä, joita käyttäen vaurioituneita paaluhatturakenteita voidaan korjata.

Vaurioituneita paaluhatturakenteita on pyritty korjaamaan niin, että pengertä ei ole tarvinnut kaivaa kokonaan auki. Paaluhattujen alla oleva tyhjätila on täytetty kevytsoralla ja paaluhattujen yläpuolelle on tunkattu teräsponttilankkuja. Vaurioita on myös korjattu niin, että penger on kaivettu auki ja paaluhattujen päälle on asennettu stabilointilaattaelementtejä. Korjattuja rataosuuksia on seurattu ja kokemukset ovat pääsääntöisesti positiiviset.

Sopivaa korjausmenetelmää etsittäessä on pyrittävä optimoimaan korjatun rakenteen odotettu elinikä, rakentamiskustannukset sekä liikennehaittakustannukset. Kevyet korjausmenetelmät ovat pääsääntöisesti halvempia sekä rakennuskustannuksiltaan että liikennehaittakustannuksiltaan. Esimerkiksi tyhjätilan käyttö kevytsoralla on kevyt korjausmenetelmä, mutta se ei yksin riitä kuin ensiaputoimenpiteeksi. Raskaimmilla menetelmillä kuten esimerkiksi paaluhattujen korvaaminen betonilaatalla voidaan taata rakenteen toimivuus pitkään, mutta sekä rakennus- että liikennehaittakustannukset ovat raskailla menetelmillä suuria. Sellaisiin rataosuuksiin, joissa voidaan todeta kevyen menetelmän toimivuus, se voi olla tarkoituksenmukainen, mutta vakavammin vaurioituneilla rataosuuksilla on raskaampi korjausmenetelmä teknisesti varmempi ja parempi.

Reparation av pålade järnvägsbankar. Banförvaltningscentralen, Bannätsavdelningen. Helsingfors 2006. Banförvaltningscentralens publikationer A 8/2006. 35 sidor och 4 bilagor. ISBN 952-445-157-3, ISBN 952-445-158-1 (pdf), ISSN 1455-2604.

SAMMANDRAG

Under 1970-talet började man i Finland använda pålplattor vid grundläggning av banvallar. Utnyttjandet av pålplattor innebar att man kunde bygga järnvägar på områden där det tidigare hade varit svårt eller omöjligt att bygga. Under senare tid har man kunnat konstatera att metoden inte fungerat under alla förhållanden. Problem har uppstått då marken under pålplattorna har sjunkit och konstruktionsmaterial ur banvallen har hamnat under plattorna. På grund av detta har plattorna svängt sig och man har varit tvungen att stöda och reparera järnvägen.

I denna rapport strävar man efter att beskriva orsakerna till skadorna på bankar som är byggda på pålplattor samt de metoder, som använts för att reparera dessa. Man lägger också uppmärksamhet på olika metoder för att fastställa skadornas art och vidd. Arbetsgruppen framför också i sin rapport nya metoder för att reparera bansträckor där problem med pålplattor förekommer.

Man har strävat efter att reparera de skadade banavsnitten utan att gräva i banken. Tomrummet under pålplattorna har fyllts med lättklinker och i andra situationer har stålspont installerats ovanför pålplattorna. Dessutom har man i en del fall reparerat skadorna genom att gräva bort banken och installera stabiliserande betong element på pålplattorna. De reparerade banavsnitten är under observering och resultaten har för det mesta varit goda.

Då man försöker få fram en lämplig reparationsmetod måste man optimera konstruktionens förväntade livstid, byggnadskostnaderna samt de kostnader som uppstår då trafiken inte kan löpa normalt. Lätta reparationsmetoder, som t.ex. att fylla tomrummet under plattorna med lättklinker, är huvudsakligen betydligt förmånligare i byggnadsskedet men konstruktionen är inte hållbar i längden och kan därför endast anses vara en förstahjälpsåtgärd. Tyngre metoder, som t.ex. att gjuta ett påldeck under banken, är dyra att bygga och orsakar väsentliga störningar för trafiken under byggnadsskedet men är garanterat hållbara på längre sikt. På sådana banavsnitt där lätta metoder räcker är de kanske ändamålsenliga, men mera allvarligt skadade bankar bör repareras mer grundligt.

Repair of railroad embankments founded on piles. Finnish Rail Administration, Rail Network Department. Helsinki 2006. Publications of the Finnish Rail Administration A 8/2006. 35 pages and 4 appendices. ISBN 952-445-157-3, ISBN 952-445-158-1 (pdf), ISSN 1455-2604.

SUMMARY

In the 1970's single pile caps were introduced in Finland for railroad construction as a new way to establish a foundation for embankments on grounds that earlier had been difficult or impossible to build on. With time it has become clear that this type of foundation is not applicable in all circumstances, as first believed. Problems have arisen with the settling of soft ground under the single pile caps and when material from the embankment has fallen below the pile caps. As a result of this some of the caps have tilted and parts of the railroads have had to be shored and repaired.

In this report the reasons for the damage are aimed to be shown and different methods for repairs and preventing new damage are examined. Also some attention is put on how to determine the grade and extent of the damage. The work group also presents some new methods for repairing damaged single pile cap constructions.

Damaged single pile cap constructions have mainly been repaired without excavating the embankment more than necessary. The possible empty space between the pile caps and the soft ground has been filled with expanded clay aggregate and steel sheet piling has been installed horizontally above the pile caps. The repairs have also been done by installing prefabricated stabilizing concrete slabs on top of the pile caps. The experiences of the repairs are mainly positive.

While trying to determine the best suitable repair method one has to optimize the construction costs, the costs for interrupted traffic and the lifespan of the new construction. Light repair methods e.g. use of expanded clay aggregate, are usually cheaper to construct and the traffic interruptions are short, but the lifespan of the construction is often too short and the method serves mainly as first aid. Heavier repair methods e.g. casting of a continuous concrete slab on the piles, are usually more expensive to construct and the traffic interruptions are longer but the lifespan and reliability of the construction is better. In such parts of the railroad where one can prove the function of lighter repair methods they might be applicable, but on parts where heavier damage has occurred, a more thorough repair method might be preferable.

ESIPUHE

Vanhoissa paalutetuissa ratapenkereissä on vuosien varrella ilmennyt ongelmia. Useissa kohdissa paaluhatuille rakennetut penkereet ovat vaatineet paljon kunnossapitoa ja raiteen tuentatyötä. Löytääkseen paaluhatturakenteita varten hyvän korjausmenetelmän Ratahallintokeskus perusti keväällä 2006 työryhmän selvittämään käytettyjen ja mahdollisesti kehitettävien menetelmien hyviä ja huonoja puolia, sekä vertailemaan eri menetelmien soveltuvuutta paalutettujen ratapenkereiden korjaamiseen.

Työryhmään ovat kuuluneet Jouko Suomalainen, Risto Ollila ja Terhi Mikkonen Oy VR-Rata Ab:ltä, Eero Kumpulainen Lemcon Oy:stä, Harry Gustafsson, Jaakko Heikkilä ja Kim Andersson Arcus Oy:stä sekä Erkki Mäkelä Ratahallintokeskuksesta.

Helsingissä lokakuussa 2006

Ratahallintokeskus
Rataverkko-osasto

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	3
SAMMANDRAG	4
SUMMARY	5
ESIPUHE.....	6
1 TÄMÄNHETKISET KOKEMUKSET PAALUTETTUJEN RATAPENKEREIDEN KORJAUKSESTA.....	8
1.1 Yleistä paaluhatturakenteista.....	8
1.2 Paaluhatturakenteiden korjaamiseen käytetyt menetelmät.....	8
1.3 Paaluhatturakenteet Helsinki–Turku	19
2 PAALUHATTURAKENTEITA RUOTSISSA JA NORJASSA	21
2.1 Ruotsi/Banverket	21
2.2 Norja/Jernbaneverket ja Vegvesen	21
2.3 Yhteenveto Ruotsin ja Norjan kokemuksista	22
2.4 Ruotsin ja Norjan ohjeita koskien paaluhatturakenteita	22
3 MENETELMIÄ ONGELMIEN KARTOITUKSEEN	25
3.1 Maatutka	25
3.2 Viistokaikuluotain	25
3.3 Seisminen luotaus	25
3.4 Rakenteen esiin kaivaminen raidevarauksen aikana tai apusillan alla	26
3.5 Kameralla tutkiminen	26
4 KORJAUSMENETELMIÄ, JOTKA VAATIVAT RAITEEN PURKAMISEN	27
4.1 Käytetyt menetelmät.....	27
4.1.1 Stabilointielementit	27
4.2 Kehitettävät menetelmät	27
4.2.1 Asfalttibetonilaatat	27
4.2.2 Betonilaatat	28
5 KORJAUSMENETELMIÄ, JOTKA EIVÄT VAADI RAITEEN PURKAMISTA.....	29
5.1 Käytetyt menetelmät.....	29
5.1.1 Kevytsooran puhallus paaluhattujen alapuolelle.....	29
5.1.2 Vaakapontin lyönti paaluhattujen yläpuolelle.....	29
5.2 Kehitettävät menetelmät	29
5.2.1 Suihkupaalut.....	29
5.2.2 Arinarakenne	30
5.2.3 UPAS.....	31
5.2.4 Muu apusilta.....	31
6 POHDINNAT JA JOHTOPÄÄTÖKSET	32
6.1 Pohdinnat	32
6.2 Johtopäätökset	34
VIITELUETTELO	35

LIITTEET

Liite 1	Paaluhatturakenteet välillä Helsinki–Turku
Liite 2	Kuvaus paaluhatturakenteesta ja siihen liittyvistä ongelmista Ruotsista
Liite 3	Suunnitelma. Stabilointilaattojen asentaminen paaluhattujen päälle raidevarauksen aikana.
Liite 4	Raportissa esitetty menetelmät.

1 TÄMÄNHETKISET KOKEMUKSET PAALUTETTUJEN RATA-PENKEREIDEN KORJAUKSESTA

1.1 Yleistä paaluhatturakenteista

Paaluhatturakenteita alettiin käyttää rautateillä 1970-luvulla. Paaluhattujen käyttöönotto mahdollisti ratapenkereiden perustamisen paalujen avulla ns. kovan pohjan varaan. Menetelmää käytettiin sekä uusien rataoikaisujen että ratojen korjaamisen yhteydessä.

Paaluhattualueen suunnittelu perustui vuonna 1972 ilmestyneeseen VTT:n tutkimukseen ja sen perusteella ilmestyneeseen julkaisuun *Paaluhattujen käyttö tie- ja rautatiepenkereissä* /10/, jonka perusteella valittiin mm. paaluväli ja paaluhattujen koko.

Käytäntö on osoittanut, että ratarakenteessa paaluhatturakenteen hattujen välisen täyttöaineen holvautuminen ei kaikissa olosuhteissa toimi halutulla tavalla. Holvautumisen purkautumista edistää junaliikenteestä aiheutuva värinä, runsaat sateet sekä veden jäätyminen ja sulaminen pakkaskauden aikana. Yleisimpiä vaurioita paaluhatturakenteissa on hattuväleistä tapahtuva eristyskerrosmateriaalin vuotaminen paaluhattujen alle syntyneeseen tyhjään tilaan ja tästä johtuva hattujen kallistuminen. Joitakin erityiskohteita lukuun ottamatta uusia paaluhattuja ei enää rakenneta rataverkolle. Uusissa kohteissa holvautuminen varmistetaan erityisrakenteilla.

Paaluhatturakenteen toimivuuden kannalta suurimpana ongelmana on se, että maa hattujen alla painuu. Näin tapahtuu varsinkin eloperäisillä maapohjilla ja ongelma muodostuu sitä pahemmaksi mitä paksumpaa työalustaa paalutustyössä ja paaluhattujen asennuksessa on käytetty. Syntyneeseen tyhjään tilaan valuu paaluhattujen välistä rakennekerrosmateriaalia ja näin ollen hattu ei ole tuettu joka suunnalta. Tällaisessa tilanteessa hattu ensin kallistuu ja lopuksi kokonaan kaatuu.

1.2 Paaluhatturakenteiden korjaamiseen käytetyt menetelmät

Paaluhattualueita on kunnostettu tai korjattu käyttäen kolmea eri menettelyä:

- tyhjätilojen täyttäminen kevytsoralla
- teräsponttien lyöminen vaakatasoon hattujen yläpuolelle
- stabilointielementtien asentaminen paaluhattujen päälle.

Kahta ensin mainittua käytettäessä ei ratarakennetta ole tarvinnut purkaa.

Kevein menetelmä on paaluhattujen alle syntyneen tyhjätilan täyttäminen ilman että ratarakennetta puretaan. Menetelmällä ei ole pyritty pysyvään korjaamiseen vaan sen avulla on pyritty estämään suurempien vaurioiden syntyminen. Menetelmän käyttö on edellyttänyt myös sitä, että mahdollisia uusia tyhjätilojen muodostumisia on jatkossa seurattu koekuoppia kaivamalla.

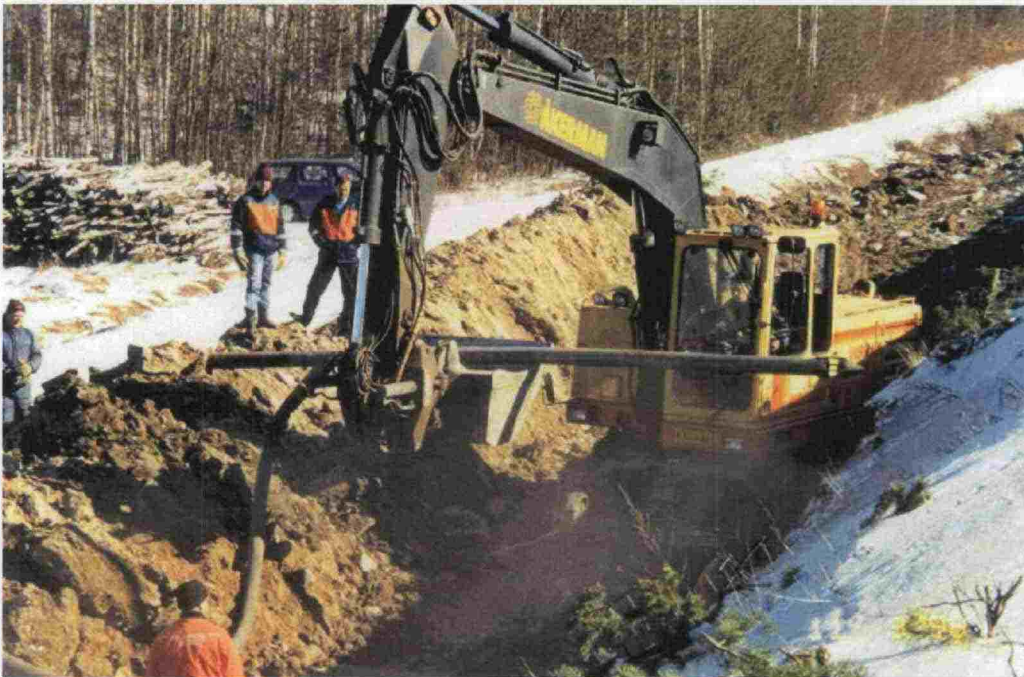
Tyhjätila on enimmäkseen täytetty kevytsoralla. Yhdessä kohteessa on käytetty myös vaahabetonia. Tyhjätilan täyttö voidaan hyvin tehdä **puhallusputkimenetelmällä**. Puhallusputkimenetelmässä putki työnnetään kummaltakin puolelta rataa reunimmaisen paaluhattun alta kohti radan keskilinjaa. Rataa ei tarvitse kaivaa auki, mutta mikäli paaluhattuja on rinnakkain enemmän kuin kolme riviä, keskimmäiset tyhjätilat saattavat jäädä täyttämättä.

Esimerkkikuvasarja työmaalta:

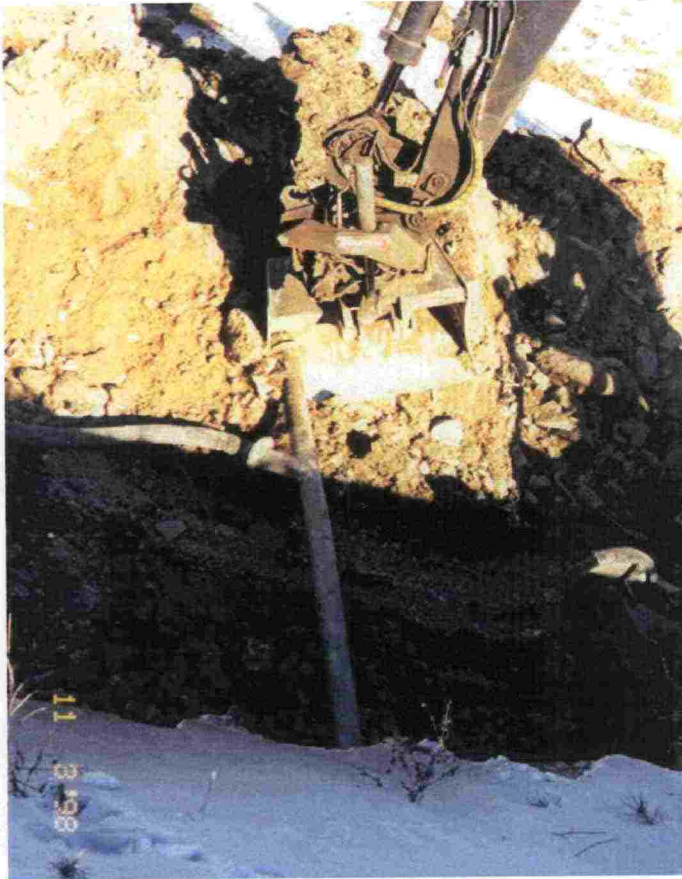
Paaluhattualueiden korjaustyöt Kela ja Siuntio 16.2.–2.4.1998, tyhjätilan täyttö kevytsoralla.



Kuva 1. Lähtötilanne. Paaluhatun alla tyhjätilaa noin 30 cm (~Km 49+300).



Kuva 2. Esiin kaivamisen jälkeen kaivinkone ohjaa puhallusputken tyhjätilaan.



Kuva 3. Kaivinkone painaa puhallusputken läpi hattujen välisen hiekkakannaksen. Samanaikaisesti kevytsora-autosta puhalletaan ilmaa, ettei putki tukkeudu.



Kuva 4. Kaivinkone ohjaa putkea painaen sitä lyöntilevystä. Kun putki on painettu perille (4,5 m), aloitetaan kevytsoran puhallus.



Kuva 5. Putki paikallaan



Kuva 6. Kevytsora-auton kuljettaja kuulee pumpun äänestä, milloin kevytsoraa ei enää mene ja antaa merkin kaivinkoneen kuljettajalle, joka vetää syöttöputkea n. 0,5 metriä ulospäin.



Kuva 7. Kaivinkone vetää puhalluksen aikana putkea ulos saatuaan kevytsora-auton kuljettajalta merkin.



Kuva 8. Kevytsora-auto ja kaivinkone.



Kuva 9. Toinen kaivinkone seuraa peittäen kaivannon välittömästi puhalluksen



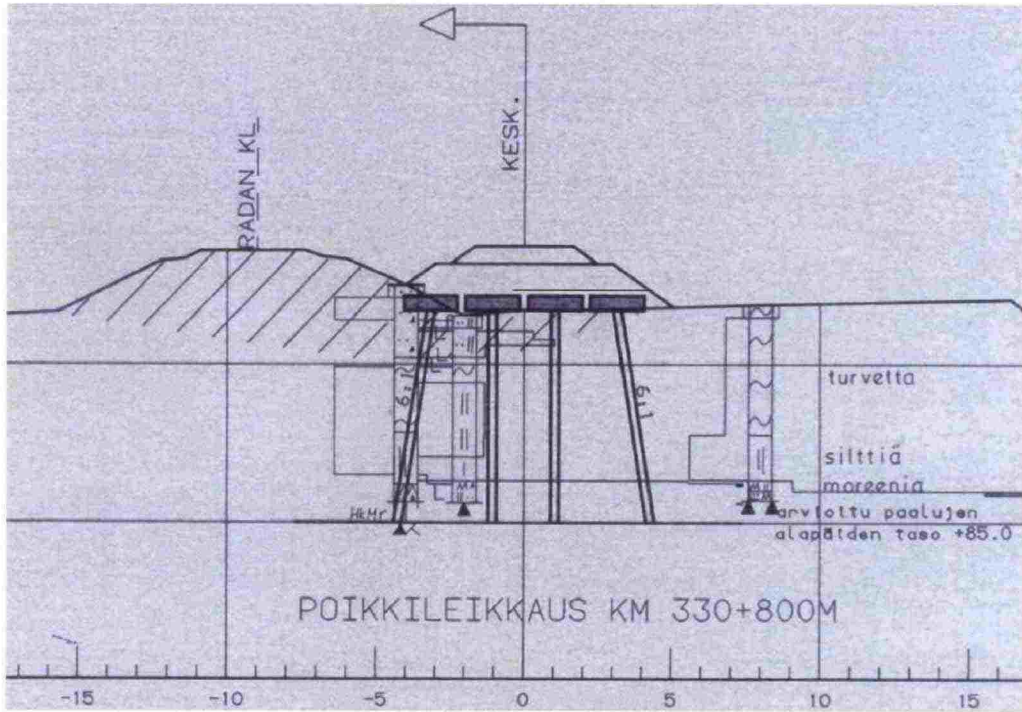
Kuva 10. Kaivinkone viimeistelee rakenteen ja perkaa sivuoajat.

Vuonna 2004 selvitettiin, miten kuuden paaluhattualueen rantaradalle Kirkkonummi–Turku-välille tehtyt korjaukset olivat onnistuneet. Selvitys tehtiin koekuoppatutkimusten, arkistomateriaalin ja kunnossapitäjien haastattelujen perusteella. Kevytsorapuhallus on täyttänyt tyhjätilat esiin kaivettujen reunimmaisten paaluhattujen kohdalta, jotka ovat pysyneet paikallaan hyvin. Työtekniikasta johtuen keskimmäisten paaluhattujen alapuolelle on jäänyt paikallisia tyhjätiloja muutamassa kohteessa. Koekuoppien kohdalla ei pääsääntöisesti havaittu huomattavia paaluhattujen lisäkallistumisia vuoteen 1997 verrattuna. Yhdessä koekuopista yksittäinen paaluhattu oli korjauksen jälkeen kallistunut voimakkaasti (noin 1:3). Kahdessa kohteessa on korjauksen jälkeen tapahtunut alapuolisten maakerrosten painumista. Todennäköisesti kyseisillä paikoilla paaluhattujen alapuolella on tyhjätilaa. Radan kunnossapitäjien mukaan kevytsorapuhalluksella on ollut kunnossapitotarvetta vähentävä vaikutus. Tuentatarve on näillä alueilla kuitenkin 2–3 kertaa tiheämpää radan muihin osiin verrattuna. Kevytsorapuhallusta ei voida tehtyjen havaintojen perustella pitää pysyvänä korjaustoimenpiteenä eikä se poista lisääntyntä radan kunnossapitotarvetta /2/.

Toinen käytetty menetelmä, joka ei vaadi ratarakenteen purkamista, on vaakaponttien lyöminen paaluhatturakenteen yläpuolelle. Tästä on esimerkkinä seuraava kuvasarja kaksoisraiteelta Seinäjoki–Louko-välillä (korjattu Tampere–Seinäjoki-projektin yhteydessä).



Kuva 11. Raiteessa näkyy painuma.



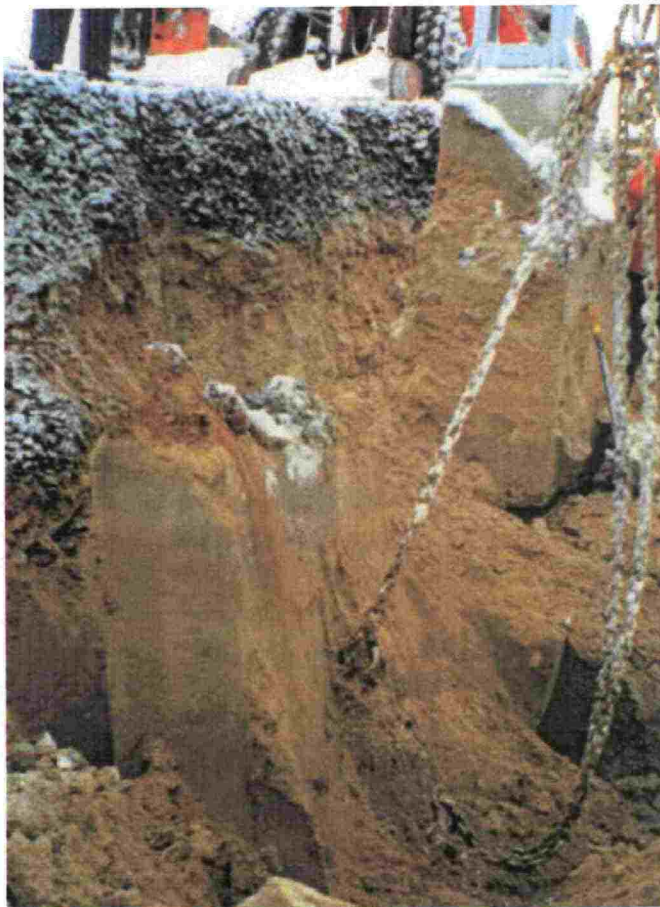
Kuva 12. Suunnitelmapiirustus kuvan 11 kohteesta. Vanhan penkereen luiska on puristanut turvekerrosta kokoon siten, ettei uuden penkereen vasemmalla reunalla olevien paaluhattujen alla ole todennäköisesti tapahtunut enää painumista. On myös todennäköistä, että uuden penkereen paalutusta ja hattujen asennusta varten on tehty piirustuksesta ilmenemätön työalusta, joka painollaan on puristanut turvekerrosta kokoon siten, että kuvissa 13–15 esitetty hattujen kallistuminen ja koko rakenteen sortuminen on tapahtunut.



Kuva 13. Paaluhatut kaivetaan esiin.



Kuva 14. Kallistunut paaluhattu.



Kuva 15. Kallistunut hattu otetaan pois paikaltaan.



Kuva 16. Paaluhatun alusta tasataan.



Kuva 17. Hattu asetetaan tasatulle pohjalle.



Kuva 18. Vaakapontti pontataan paikalleen.



Kuva 19. Suodatinkangas on asennettu ponttien päälle.



Kuva 20. Korjaus on tehty

Vaakaponteilla korjatusta kohdasta (km 330+783–330+939 sekä 330+956–331+000) ei 10 vuoden aikana ole tullut tietoa ongelmista, jotka olisivat aiheuttaneet lisääntyvää kunnossapitotarvetta. Toukokuussa 2006 kunnossapitäjä kävi työryhmän pyynnöstä tarkastamassa em. rataosuudet ja totesi, että ensimmäisellä osuudella esiintyy loivaa aaltoilua, joka hänen mielestään on keväällä normaalia. Toinen lyhyempi rataosuus (330+956–331+000) oli ratatarkastajan mielestä erittäin hyvässä kunnossa, mutta välittömästi kilometritolpan 331+000 jälkeen rata on 40–50 metrin matkalla huonommassa kunnossa. Tämä antaa viitteitä siitä että vaakaponteilla korjattu rataosuus on toiminut halutulla tavalla mutta korjausta ei ole jatkettu tarpeeksi pitkälle. Voisi olla tarkoituksenmukaista kaivaa penkka auki muutamasta kohtaa kyseisellä rataosuudella ja tarkastaa miltä tilanne näyttää paaluhattujen alla. Jos tilanne paaluhattujen alla vaikuttaa vakaalta, voi menetelmää suositella käytettäväksi vastaavissa olosuhteissa.

Järein käytetty menetelmä on ollut stabilointilaattojen asentaminen paaluhattujen päälle raidevarauksen aikana. Elementit estävät pengermateriaalin valumisen hattujen alapuolelle mahdollisesti syntyviin tyhjätiloihin. Päälysrakenne puretaan ja eristyskerros kaivetaan pois siten, että paaluhattut saadaan näkyviin. Vinossa olevat paaluhattut oikaistaan. Paaluhattujen välit täytetään ja tiivistetään hiekalla ja hattujen väliset korkeus- ja kaltevuuserot tasataan maakostealla betonilla siten, että kullekin elementille muodostuu tasainen asennusala. Elementtien koko suunnitellaan siten, että yksi elementti tukeutuu neljään paaluun. Elementit asennetaan paikoilleen siten, että raidetta vastaan kohtisuora sauma osuu paalurivin kohdalle. Elementtien päälle asennetaan suodatinkangas, jotta eristysosan valuminen saumavälistä estyy. Elementtejä ei ole kiinnitetty toisiinsa.

Tästä menetelmästä on liitteenä käytännössä toteutettu suunnitelma.

1.3 Paaluhatturakenteet Helsinki–Turku

Helsinki–Turku-välin paaluhatturakenteet on selvitetty geoarkistojen perusteella. Paaluhatturakenteista on koottu seuraavat tiedot:

- sijainti rataosana ja kilometrivälinä
- pohjamaan laatu (kuivakuorellinen savi tai eloperäinen pohjamaa)
- paalujen k/k-väli, hattujen koko ja hattujen vapaa väli
- liittyvät piirustukset

- tiedossa olevat ongelmat rakentamisen yhteydessä.

Paaluhatturakenteet taulukkomuodossa on esitetty liitteessä 1.

2 PAALUHATTURAKENTEITA RUOTSISSA JA NORJASSA

Tarkastelutyön yhteydessä on käyty tutustumassa Ruotsin ja Norjan kokemuksiin paaluhatturakenteista. Keskusteluissa käytiin läpi pengerpaalutusta yleisesti ja paaluhatturakenteita erityisesti.

2.1 Ruotsi/Banverket

Ruotsissa Banverketin edustajan mukaan ei ole sanottavammin ollut ongelmia ko. rakenteen kanssa. Paaluhatturakenteita on kuitenkin käytetty yleisesti.

Ainoa kohde, jossa on todettu ongelmia, on hiljattain rakennettu kohde Ruotsin pohjoisosissa. Rataosuutta ei vielä ole avattu säännölliselle liikenteelle eikä korjausmenetelmää ole vielä päätetty.

Banverketin arvio oli, että kyseessä oleva paaluhattukohta tullaan todennäköisesti kaivamaan esiin ja rakentamaan uudestaan esim. paalulaattarakenteisena. Koska rataosuus ei ole säännöllisellä liikenteellä, ratkaisu on selkeä ja varma. Kohde on tarkemmin esitetty liitteessä 2.

Banverket on teettänyt SGI:n (Statens geotekniska institut) ja erään konsultin yhteistyönä v. 2004 julkaisun tai menetelmätarkastelun olemassa olevien ratojen pohjanvahvistustoimenpiteistä liikenteen alaisilla radoilla. ("Befintliga järnvägar–Jordförstärkning av undergrund under pågående trafik" En möjlighetsstudie)

Julkaisu keskittyy paaluttamattomiin, vanhoihin ratoihin. Siinä käsitellään melko ennakkoluulottomasti mahdollisia pohjanvahvistusmenetelmiä ja niiden rajoituksia, vaikutusta olemassa olevaan rataan, ongelmia, kokemuksia ja riskejä.

2.2 Norja/Jernbaneverket ja Vegvesen

Keskusteluissa Jernbaneverketin edustajan kanssa ilmeni, että Norjassa ei ole rata-rakentamisen yhteydessä tehty kuin yksi kohde paaluhatturakenteisena 30 vuoden aikana. Paaluhatturakennetta on yhdessä kohdassa Gardermoenin lentokentän ja Oslon välisellä rataosuudella. Rakenne liittyy siltaan. Mitään painumia tai vaurioita ei ole havaittu.

Norjan tielaitos (Vegvesen) on käyttänyt paaluhatturakenteita selvästi ratalaitosta useammin. Tielaitoksen mukaan ongelmia ei kuitenkaan ole ollut.

Varsinaista hatturakennetta Norjassa on käytetty säästeliäästi. Enimmäkseen tämän tyyppisissä ratkaisuihin on käytetty penkereen alle poikittain paalujen varaan valettua teräsbetonikaistaletta (peler med betongstriper). Kaistaleen leveys on normaalisti 1,2...1,8 m ja vapaa väli tapauksesta riippuen 0,8...1,2 m. Peittoastevaatimus on maapohjan ominaisuuksista riippuen 40...70 %, joka koskee myös hattuja.

Paalutettujen laattakaistojen osilta ei ole ollut ongelmia. Norjan tielaitoksen kokemusten mukaan pengerpaksuuden täytyy olla riittävän suuri, jotta liikenteen dynaamiset vaikutukset eivät aiheuta häiriötä laattojen välisessä holvauksessa ja että laattojen yläpuolella tulee hattu- ja kaistarakenteen yhteydessä aina käyttää lujiteverkkoa.

2.3 Yhteenveto Ruotsin ja Norjan kokemuksista

Ruotsissa ja varsinkaan Norjassa paaluhatturakenteiden yhteydessä ei ole havaittu korjausta vaativia ongelmia. Poikkeuksena kohdassa 2.1 mainittu Ruotsin kohde, joka ei kuitenkaan edusta tyypillistä korjauskohdetta radan ollessa uusi, eikä sitä vielä ole avattu säännölliselle liikenteelle. Ruotsin ja Norjan käynneistä ei näin ollen ole saatu haluttua tietoa mahdollisista käyttökelpoisista korjausmenetelmistä.

2.4 Ruotsin ja Norjan ohjeita koskien paaluhatturakenteita

Ruotsin tielaitoksen paalulaattarakenteita käsittelevien ohjeiden mukaan kuormia jakava kerros sekä pengerkorkeus on suunniteltava niin, että kuormat siirtyvät paaluille paalulaattojen kautta holvautumisen ansiosta siten, että deformaatiota ei tapahdu tien pinnassa. Kuvassa 21 on esitettyinä geometrisiä vaatimuksia kuormia jakavalta kerrokselta sekä pengerkorkeudelta niin että nämä vaatimukset täyttyvät tyydyttävästi.

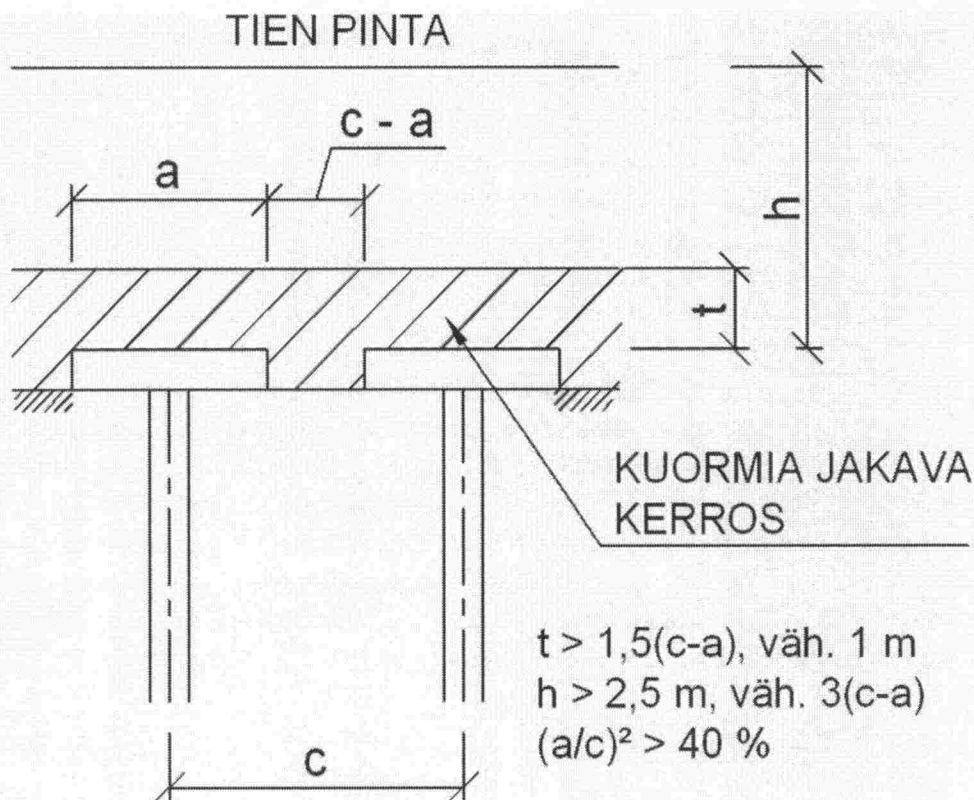
Pohjamaan kantavuus määritetään liukupintalaskelmilla, mutta pohjamaan pinta-kerrokselle (syvyydelle 3 kertaa hattujen väliin jäävä rako) on annettu seuraavat vaatimukset:7/

- orgaanisen aineen pitoisuus < 6 %
- karakteristinen suljettu leikkauslujuus > 10 kPa
- sensitiivisyys < 30
- vesipitoisuus < 75 %.

Kuormia jakavassa kerroksessa olevan maa-aineksen Ruotsin tielaitoksen normit määrittävät olemaan joko soraa VÄG 94, 4.9.1.1. mukaan tai mursketta 0–200 mm seuraavilla ominaisuuksilla:

- $d_5 > 0,074 \text{ mm}$, $d_{50} > 20 \text{ mm}$, $d_{90} < 200 \text{ mm}$, $C_U > 5$
- puolet yli 10 mm läpimitaltaan olevan maa-aineksen tulee olla murskattua
- jäätöntä, lumetonta, ilman orgaanisia aineita tai jätteitä.

Lisäksi Ruotsin tielaitoksen normien mukaan paaluhattu tulee ankkuroida paaluun niin, että syntyvät vaaka- ja pystykuormat siirtyvät paalulle. Peittoastetta voidaan pienentää, jos kuormia jakava kerros vahvistetaan lujitteella tms./7/



Kuva 21. Ruotsin tielaitoksen normien mukaisia geometrisia vaatimuksia kuormia jakavalta kerrokselta sekä pengerkorkeudelta paalulaattojen yhteydessä. /7/

Norjan ohjeet ovat hyvin samanlaiset Ruotsin ohjeiden kanssa. Selvä lisä Norjan normeissa on se, että silloin kun pohjamaa on hyvin huonosti kantavaa (vetistä savea, turvetta jne.) tulisi paaluhattuja välttää ja pilaririvit valaa päältä yhteen palkilla (betongstriper). Palkkien peittoaste lasketaan Norjan ohjeissa kaavalla $D = a/c \cdot 100 \%$. Norjan ohjeissa puhutaan myös vahvasti geovahvisteiden käytöstä välittömästi paaluhattujen yläpuolisessa maakerroksessa. Kun maata vahvistetaan, peittoasteen ei tarvitse olla yhtä suuri. Geovahvisteiden vetolujuus määritetään tapauskohtaisesti niin, että maakiila paaluhattujen välillä ei pääse valumaan alas ja geovahviste ei veny liikaa. /4/

Norjan ohjeessa on määritetty, pohjaolosuhteista riippuen, täytteen paksuus sekä peittoaste. Oletuksena on, että paaluhattujen alle jää joko kitkamaata tai kuivakuorisavea. Jos kitkamaata tai kuivakuorisavea on yli metrin verran, peittoasteeksi riittää 40 % ja täytteen paksuudeksi 2,5 m. Kitkamaa-/kuivakuorikerroksen ohentuessa nostetaan täytteen paksuutta ja peittoastetta. Jos kitkamaa-/kuivakuorikerrosta ei ole, ehdotetaan käytettäväksi betonipalkkeja paaluhattujen sijaan. /4/

Yhteenvetona Ruotsin ja Norjan ohjeista voi sanoa, että pengerpaksuuden tulee olla riittävän suuri ja geovahvisteita suositetaan, jotta maa-ainesta ei varisisi paaluhattujen välistä. Voidaan myös todeta, että hyvin pehmeällä alustalla ei paaluhattuja rakenneta ollenkaan vaan käytetään toisenlaista menetelmää (betonipalkit Norjassa).

Vertauksena Suomessa Tiehallinnon julkaisussa *Paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden suunnitteluohje* sanotaan, että paaluhatturakenteet soveltuvat rakennettaviksi kiinteille savikoille, joissa pehmeän kerroksen leikkauslujuus on tarpeeksi suuri

estämään pengermateriaalin valumista hattujen välistä sekä tukemaan paaluja ja paaluhattuja rakentamisvaiheessa ja sen jälkeen.

Tielaitoksen ohjeen mukaan minimivaatimukset saven leikkauslujuudelle ovat 15 kPa, kun kuivakuorisavea jää vähintään metrin verran leikkaustason alapuolelle, muuten 20 kPa. Kyseisessä julkaisussa on myös penkereen geometriset vaatimukset sekä paaluvälin ja peittoasteen määrittäminen esitetty lähes identtisellä tavalla kuin Ruotsin ja Norjan ohjeissa. /9/

Ratatekniset määräykset ja ohjeet (RAMO) osa 3 Radan rakenne /11/ ei ota suoranaisesti kantaa paaluhattujen käyttöön, vaan se toteaa suunnittelussa käytettävien määräysten ja ohjeiden pätemisjärjestyksen. Rautatien maarakennustöiden yleinen työselitys ja laatuvaatimukset (RMTYL) osa 3 Perustamis- ja vahvistamistyöt /12/ toteaa paaluhattuja käytettävän pehmeillä ja ensisijaisesti ainoastaan hitaasti liikennöitävillä teollisuusraiteilla tai ratapihoilla. Käytännössä paaluhattuja ei suunnitella ja rakenneta kuin erikoistapauksissa. Tällainen tapaus voi olla esimerkiksi olemassa olevan toimivan paaluhattualueen laajentaminen.

Suomen, Ruotsin ja Norjan ohjeet paaluhatturakenteille eivät oleellisesti eroa toisistaan. Syy, miksi Suomessa on enemmän ongelmia paaluhatturakenteiden kanssa, voi olla se, että täällä on rohkeammin rakennettu paaluhatturakenteita sellaiselle alustalle, joka ei ole tälle rakenteelle sopivaa sekä pengermateriaaleilla ja pengerpaksuuksilla, jotka eivät ole olleet vaatimusten mukaisia.

3 MENETELMIÄ ONGELMIEN KARTOITUKSEEN

Paaluhatturakenteen toimivuuden kannalta syntyy ongelmia, jos maa hattujen alla painuu. Syntyneeseen tyhjätilaan valuu paaluhattujen välistä rakennekerrosmateriaalia ja näin ollen hattu ei ole tuettu joka suunnalta. Tällaisessa tilanteessa hattu ensin kallistuu ja lopuksi kokonaan kaatuu. Tähän mennessä ilmenneet kohteet, joissa kyseistä vauriota on tapahtunut, on huomattu, kun radan kunnossapitäjä on joutunut yhä useammin tukemaan raidetta tai raiteenmittausvaunun mittauksissa on havaittu poikkeavuuksia. Korjausmenetelmän määrittämiseksi on kyettävä toteamaan penkan ja paaluhatturakenteen sekä alla olevan maan tilanne ja mahdollisen ongelman suuruus.

3.1 Maatutka

Maatutka lähettää antenniyksikkönsä avulla lyhyitä sähkömagneettisia pulsseja maaperään. Sähköaallot etenevät aineessa noin valon nopeudella ja aina väliaineen sähköisesti muuttuvasta rajapinnasta osa lähetetystä aaltoenergiasta palautuu takaisin. Tämän takaisin palautuneen aallon amplitudi rekisteröidään matka-ajan funktiona tutkalaitteiston avulla. Liikuteltaessa tutkan antennia maalla saadaan maaperän kerroksista maatutkan informaatioon perustuva poikkileikkauskuva. Myös rajapintojen voimakkuus ja syvyys on havaittavissa tulostuneelta maatutkaprofiililta. /5/

Eräiden maatutkaurakoitsijoiden mukaan paaluhatturakenteissa oleva teräs haittaa tulkintaa paaluhatturakenteen alta ja yksittäinen paaluhattu löytyy parhaimmassa tapauksessa vielä 5 metrin syvyydeltä, mutta luultavasti 2–4 metriä on se syvyysalue, jolla tutkimusta voisi maatutkalla tehdä. Teräsbetoniset ratapölkkyt haittaavat tulkintaa. Olisi suotavaa tehdä koemittaus sellaisesta paikasta, jossa paaluhattu ovat 2–3 metrin syvyydellä ja tämän jälkeen tehdä uusi arvio niiden kokemusten perusteella. Perinteinen maatutka tuottaa informaatiota yhdestä linjasta ja uudemmalla kolmiulotteisella maatutkalaitteistolla saadaan 2,3 m leveä kaista tutkittua maatutkamenetelmällä noin 3 metrin syvyyteen. Toisaalta Geologisen tutkimuskeskuksen edustaja /6/ oli sitä mieltä, että maatutkalla voi hyvinkin kuvata viistosti penkan sivulta ja siten etsiä ilmatilaa paaluhattujen alta. Paaluhattu saattavat löytyä syvemmältäkin. Antenni (ja taajuus) on valittava sopivaksi, kun tiedetään, miltä syvyydeltä tietoa halutaan. On myös huomioitava, että savessa maatutka ei toimi, mutta jos saven ja paaluhattujen välillä on tyhjää tilaa ja paaluhattujen välillä on tarpeeksi rakoa, tämä tyhjä tila pitäisi löytyä hyvin. /6/

3.2 Viistokaikuluotain

Kaikuluotaimella tapahtuva tiedonkeruu toimii vain vedessä. Kaikki tieto, joka on löytynyt viistokaikuluotaimesta, koskee vedessä tehtäviä tutkimuksia.

3.3 Seisminen luotaus

Seisminen luotaus on varsin hidasta, sillä luotauslaitteiston on oltava paikallaan tutkimusta tehtäessä. Haastatellut maatutkimuksen asiantuntijat olivat sitä mieltä, että seisminen luotaus ei sovellu hyvin ratapenkan tutkimiseen. Seisminen luotauksen resoluutio on niin karkea, että rakennettu pengerympäristö ei välttämättä ole luotettavasti tulkittavissa tutkimustuloksista.

3.4 Rakenteen esiin kaivaminen raidevarauksen aikana tai apusillan alla

Pengerluiskan juurelle tehtyjen koekuoppien avulla saadaan tieto ainoastaan yhden tai korkeintaan kahden paaluhatun asennosta ja tyhjätilan suuruudesta sen alla. Korkeiden penkereiden kohdalla, joissa rinnakkaisia paaluhattuja on enemmän kuin kolme, saattaa olla samankaltaisia hattujen alapuolisen täytemaan painumisesta johtuvia ongelmia myös penkereen keskiosan alapuolella. Varmin tapa selvittää tämä asia on kaivaa rakenne auki niin, että suoralla näköhavainnolla voidaan todeta asian tila.

Edellä esitetty koekuopan kaivu voidaan tehdä esim. viikonlopun pituisen raidevarauksen aikana. Toinen vaihtoehto on tehdä se 20 metrisen apusillan alla, jolloin junaliikenne voi ylittää tutkimuspaikan rajoitettua nopeutta käyttäen. Kumpikin esitetyistä vaihtoehdoista on hintava ja niiden käyttö kannattaa harkita tarkoin ja paikka valita huolellisesti olemassa olevan tietämyksen ja tutkimustulosten perusteella. Auki kaivettavan alueen pituus rajoittuu apusiltaa käytettäessä pengerkorkeudesta riippuen enintään 10 metriin.

3.5 Kameralla tutkiminen

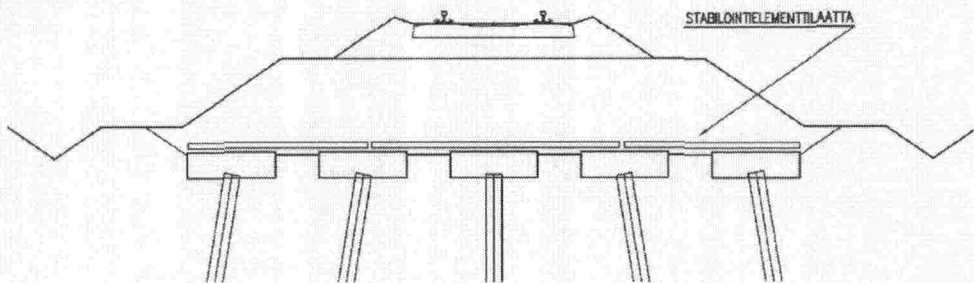
Pienen kameran voi ujuttaa penkereen sisään poratun putken läpi. Kamera antaa video(VHS)- tai valokuvatietoa paaluhattujen tilanteesta. Kameran kuvapäätä voi kiertää ja kallistaa, joten putken kohdalta on helppo kuvata joka suuntaan. Tällä tavalla voidaan silmämääräisesti arvioida rakenteen kuntoa ja korjaustarvetta syvällä penkan sisällä.

4 KORJAUSMENETELMIÄ, JOTKA VAATIVAT RAITEEN PURKAMISEN

4.1 Käytetyt menetelmät

4.1.1 Stabilointielementit

Paaluhattujen päälle asennetaan betoniset stabilointielementttilaatat. Elementit estävät pengermateriaalin valumisen hattujen alapuolelle mahdollisesti syntyviin tyhjätiloihin. Elementtilaatoille ei tehdä rakenteellista mitoitusta. Päälysrakenne puretaan ja eristyskerros kaivetaan pois siten, että paaluhatut saadaan näkyviin. Vinossa olevat paaluhatut oikaistaan. Paaluhattujen välit täytetään ja tiivistetään hiekalla ja hattujen väliset korkeus- ja kaltevuuserot tasataan maakostealla betonilla siten, että kullekin elementille muodostuu tasainen asennusala. Elementtien koko suunnitellaan siten, että yksi elementti tukeutuu neljään paaluun. Elementit asennetaan paikoilleen siten, että raidetta vastaan kohtisuora sauma osuu paalurivin kohdalle. Elementtien päälle asennetaan suodatinkangas, jotta eristyssoran valuminen saumavälistä estyy. Elementit eivät ole toisissaan kiinni. Tästä menetelmästä on liitteenä käytännössä toteutettu suunnitelma./1/



Kuva 22. Korjaus stabilointielementtien avulla. /8/

4.2 Kehitettävät menetelmät

4.2.1 Asfalttibetonilaatat

Asfalttibetonin käyttö paalulaatan korjausmenetelmänä vastaa tavanomaista asfaltointityötä materiaalin valmistuksen, kuljetuksen sekä rakentamisen osalta ja poikkeaa lähinnä valmisteleavan vaiheen eli paaluhattukentän kunnostamisen osalta.

Työmenetelmässä nykyinen ratapenger kaivetaan auki. Vinossa olevia paaluhattuja oikaistaan ja tyhjäksi jäänyttä alapuolista tilaa täytetään esim. kevytsoralla. Paalujen välitila ja mahdolliset korkeuserot (kork. n. 30 cm) tasataan murskeella paaluhattukentän yläpinnan tasoon. Mursketäyttöä tiivistetään sopivalla tiivistyskalustolla ja tarvittaessa käytetään kastelua nopeuttamaan työvaihetta.

Tiivistetyn mursketäytön ja paaluhattujen päälle voidaan tehdä massatasaus samalla asfalttibetonin koemassalla, jota käytetään varsinaisen laatan tekemiseen tai tavanomaisella tasausmassalla. Asfalttibetonikerrosta vahventamaan voidaan lisätä raudoitusverkko, joka sijoitetaan tasauskerroksen yläpintaan. Massatasauksella alusta tehdään kuivatuksen kannalta tarkoituksenmukaiseen sivu- ja pituuskaltevuuteen.

Massatasausalustan päälle tehdään varsinainen kantavan kerroksen asfalttibetonilaatta esim. ABK-massalla. Massan raekoko suhteutetaan muodonmuutoksia hyvin

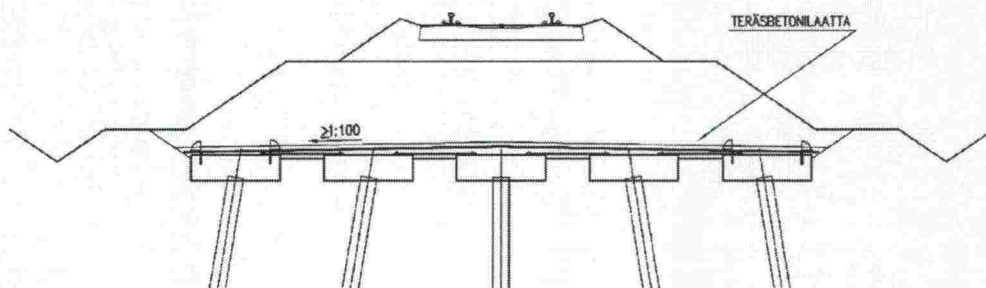
kestäväksi, levitetään paksuudeltaan tasaisena kerroksena ja tiivistetään koneellisesti. Menetelmä ei vaadi suurta mittatarkkuutta ja kantava laattamainen rakenne on valmis kuormitettavaksi lähes välittömästi tiivistyksen jälkeen.

Erityistä huomiota tulee kiinnittää siltojen taustojen pintavesien kuivatuksen järjestämiseen. Asfalttibetonilaatta pidättää ja kuljettaa tehokkaasti ratapenkereen läpi suodattunutta vettä ja virtauksen lisääntyminen saattaa heikentää ratapenkereen vakavuutta sillan päädyssä tai aiheuttaa etuluiskan eroosiota.

Asfaltointi menetelmänä edellyttää huolellista työvaiheiden suunnittelua. Korjauskohteen maasto, huonot pohjaolosuhteet tai rataympäristö yleisesti saattavat asettaa rajoituksia taloudelliselle massan valmistukselle ja kuljetuksen järjestämiselle sekä optimaalisen levitys- ja tiivistyskaluston käytölle.

4.2.2 Betonilaatat

Hatut nostetaan tilapäisesti pois paikoiltaan ja tyhjätilat täytetään ja tiivistetään. Mikäli yksittäinen paaluhattu on keskimääräistä korkeustasoa ylempänä, katkaistaan paalun yläpäästä sen verran, että kaikki paaluhatut saadaan keskimääräiselle korkeustasolle. Paaluhattujen yläpäästä pestään puhtaaksi tartunnan parantamiseksi ja hattujen päälle valetaan yhtenäinen raudoitettu teräsbetonilaatta nopeasti kovettuvalla betonilla. Täyttötyöt pyritään aloittamaan mahdollisimman pian (noin 15 h valusta kesäolosuhteissa) laatan saavutettua riittävän lujuuden. Laatta kallistetaan poikkisuunnassa laskemaan keskeltä molempia reunoja kohti.



Kuva 23. Korjaus teräsbetonilaatan avulla. /8/

5 KORJAUSMENETELMIÄ, JOTKA EIVÄT VAADI RAITEEN PURKAMISTA

5.1 Käytetyt menetelmät

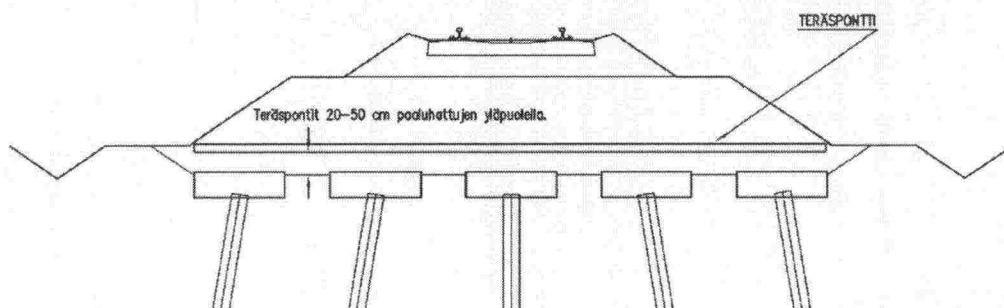
5.1.1 Kevytsoran puhallus paaluhattujen alapuolelle

Maata kevyemmän materiaalin puhaltaminen paaluhattujen alle puhallusputki-menetelmällä. Menetelmällä pyritään estämään suurempien vaurioiden syntyminen. Menetelmän käyttö edellyttää, että mahdollisia uusia tyhjätilojen muodostumisia seurataan jatkossa esimerkiksi koekuoppia kaivamalla.

Puhallusputkimenetelmässä putki työnnetään kummaltakin puolelta rataa reunimmaisen paaluhatun alta kohti radan keskilinjaa. Rataa ei tarvitse kaivaa auki, mutta mikäli paaluhattuja on rinnakkain enemmän kuin kolme riviä, keskimmäiset tyhjätilat saattavat jäädä täyttämättä.

5.1.2 Vaakapontin lyönti paaluhattujen yläpuolelle

Teräspontit lyödään 20...50 cm paaluhattujen yläpuolelle vaakasuoraan lukkoihin lyötyinä. Pontin alapintaan voidaan asentaa rei'itetty teräsputki. Teräsputkeen pumpataan polyuretaanivaahtoa tyhjätilojen täytteeksi ja hatturakojen tukkimiseksi. Menetelmää voidaan käyttää hyvin lyhyilläkin raidevarauksilla. Ongelmia voi syntyä, mikäli paaluhatut ovat jo rakentamisvaiheessa asennettu eri tasoille. Lisäksi yksittäisiä paaluhattuja on saattanut kallistua voimakkaasti, jolloin paaluhatun reuna voi olla jopa 40 cm teoreettista asemaansa ylempänä. Leveisiin penkereisiin ponttia ei pystytä asentamaan. Penkereen käyttäytymisestä pontin lyömisen aikana ei ole tietoa. Paaluhattujen korkeuseroista ja pontin asennustoleranssista johtuen paaluhatun ja pontin väliin saattaa jäädä paljonkin maata. Tällöin väliin jäävän maan käyttäytymistä ei voida ennustaa, kun maa painuu vanhojen paaluhattujen välissä. Rakenteen mitoittaminen on vaikeaa ja vaakaponttilevyn täryttäminen saattaa vähentää holvauksen toimivuutta.



Kuva 24. Korjaus teräsponttilevyn avulla /8/

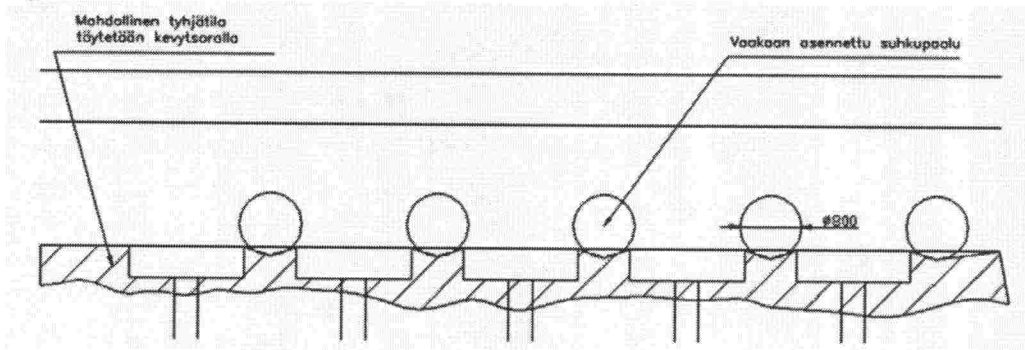
5.2 Kehitettävät menetelmät

5.2.1 Suihkupaalut

Suihkupaalutuksessa suutinkappale ensin porataan tai huuhdellaan haluttuun syvyyteen. Sen jälkeen suutinta vedetään samalla pyörittäen ja suuttimen kautta sementtiä ruiskuttaen. Näin muodostuu maan ja sementin sekoitustuloksena maabetoninen paalu. Nostonopeuden ja syötön ohjauksella voidaan syntyvän paalun läpimittaa säätää aina yhteen metriin asti.

Suihkupaalumenetelmää voidaan käyttää paaluhatturakenteen korjauksissa, koska paalu on tehtävissä myös vaakasuoraan. Suihkupaaluista voidaan muodostaa joko yhtenäinen maabetonikerros hattujen yläpuolelle, tai mikäli paalujen sijainti on tarkasti tiedossa, voidaan suihkupaalu kohdistaa paalurivien väliin ja sulkea vain hattujen väliin jäävä rako. Radan pituussuuntaisten hatturivien välit on suljettavissa vain yhtenäisellä maabetonikerroksella.

Suihkupaalumenetelmää voidaan käyttää myös yhdessä vaakasuoraan poratuista teräksistä muodostetun arinan kanssa. Näin voidaan parantaa maabetonikerroksen lujuutta.



Kuva 25: Suihkupaalujen asennus vaakaan

Paaluhattujen alapuolinen tyhjätila on voinut edetä jo niin pitkälle, että hattujen välinen holvi ulottuu runsaasti hattujen yläpuolelle. Tällöin sementtisuihku saattaa karata hattujen alapuoliseen tyhjätilaan. Seurauksena materiaalienekki nousee suureksi eikä toivottua yhtenäistä kerrosta saada aikaan. Tämä on estettävissä täyttämällä hattujen alapuoli ensin kevytsoralla.

Ongelma suihkupaalutuksessa on, kuten muissakin betonirakenteissa, että sitoutumisen aikana pitäisi välttää värinöitä. Sitoutumista voidaan nopeuttaa käyttämällä rapid-sementtiä. Värinäherkkyys rajoittaa suihkupaalumenetelmän käyttöä matalilla penkereillä, joissa junaliikenteen vaikutus ulottuisi sitoutuvaan kerrokseen.

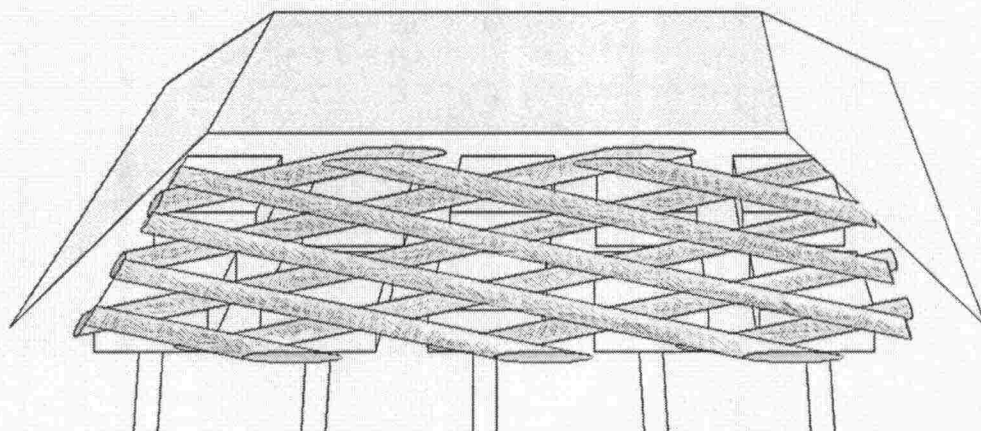
Työsaavutukseksi voidaan arvioida yksiraiteisella radalla 2–3 paalua/työvuoro. Eli yhtenäistä maabetonikerrosta saadaan syntymään n. 2 ratametriä/työvuoro. Jos paalut kohdistetaan vain hattuväleihin, etenemä paranee merkittävästi. Kustannuksiltaan yhtenäinen suihkupaalutettu maakerros vastaa paalulaatan neliökustannusta noin 10 m paalupituudella. Etuna on se, että raidetta ei tarvitse purkaa korjauksen ajaksi.

5.2.2 Arinarakenne

Sadeveden ja värinän, ja mahdollisesti väärän pengermateriaalin vaikutuksesta holvaus ei toimi paaluhattujen välillä, kun pohjamaa painuu paaluhattujen alta pois. Tämä voitaisiin mahdollisesti estää asentamalla putket, teräsprofiilit, injektointivaipalla varustetut poratangot tai vastaavat penkkaan niin, että niistä muodostuisi verkko paaluhattujen yläpuolelle. Ideana tässä menetelmässä on se, että verkon "silmut" olisivat huomattavasti pienempiä kuin paaluhattujen välissä alun perin olleet tyhjät välit ja tämä estäisi pengermateriaalin valumisen paaluhattujen välistä. Toisaalta myös paaluhattujen kallistuminen estyy, kun niiden yläpuolella on jäykkä verkko. Arina voitaisiin rakentaa esimerkiksi naulaamalla penkkaan harjaterästä, poraamalla teräs-

putkipaaluja vaakaan tai tärisyttämällä vaikka ratakiskoja penkereen sisälle. Arinan ja stabiloinnin yhteiskäyttö olisi myös mahdollista. Stabiloimalla maa arinan yläpuolella voitaisiin taata varisemisen loppuminen. Samaan tulokseen saatettaisiin myös päästä käyttämällä injektointivaipalla varustettuja poratankoja, jolloin tangon ympärille muodostuu sementillä sidottu maakerros.

5.2.3 UPAS



Kuva 26. Periaatekuva putkitelasta paaluhattujen päälle asennettuna

UPAS eli uusi pienapasilta on kehitteillä oleva innovaatio, jossa junaliikenne voidaan ohjata työmaan yli apusiltaja pitkin. Näin ollen tarvittavat raidevaraukset saadaan lyhyemmiksi. Menetelmässä lyödään 10 metrin välein UPAS-10:n tukipaalut. Näiden tieltä tulee poistaa uloimmat paaluhatut. Kaivutyöt, UPASin poikkikannattajien ja UPAS-kannattajien asennus sekä UPAS-rakenteiden poisto ja täyttötyöt tehdään raidevarausten aikana.

Apusillan alla voisi hyvin asentaa stabilointielementit tai valaa teräsbetonilaatta, kuten on esitetty edellisessä kappaleessa, mutta junaliikenne voisi jatkua rakennustöiden aikana.

5.2.4 Muu apusilta

Kehitteillä on myös olemassa olevia apusiltaja hyödyntävä menetelmä, joka voi osoittautua käyttökelpoiseksi lähitulevaisuudessa. Kyseisen sillan jänneväli on noin kaksinkertainen UPAS-menetelmään verrattuna.

6 POHDINNAT JA JOHTOPÄÄTÖKSET

6.1 Pohdinnat

Paaluhattualueiden korjausmenetelmät on jaettu menetelmiin, jotka vaativat raiteen purkamisen sekä menetelmiin, jotka eivät vaadi raiteen purkamista. Paaluhattualueiden korjausmenetelmien vertailu on esitetty taulukoissa 1 ja 2.

Taulukko 1. Menetelmät, jotka eivät vaadi raiteen purkamista

	<i>Tyhjätilan täyttö</i>	<i>Teräspontti- levy</i>	<i>Teräsbetoni- laatta, UPAS</i>	<i>Suihkupaalutus vaakaan</i>
Menetelmää on käytetty	X	X		
Liikennekatko aika				
2-6 tuntia	X	X	X	
6-12 tuntia				
12-24 tuntia				
yli 24 tuntia				X*
Rakentamiskustannukset				
Pienet	X			
Keskisuuret		X		X
Suuret			X	
Liikennehaittakustannukset				
Pienet	X	X	X	X
Keskisuuret				
Suuret				
Tekninen vaativuus				
Helppo				
Vaativa	X	X	X	X
Erittäin vaativa				
Korjaustuloksen kestävyys				
Muutama vuosi	X			
Kymmeniä vuosia		X	X	X
Materiaalin kuljetus				
Vähän				
Jonkin verran	X	X		X
Paljon			X	
Tarvitaan erikoiskalustoa				
Kyllä			X	X
Ei	X	X		

Taulukko 2. Menetelmät, jotka vaativat raiteen purkamisen

	<i>Stabilointilaatta- elementti</i>	<i>Teräsbetoni- laatta</i>	<i>Asfalttibetoni- laatta</i>
Menetelmää on käytetty	X		
Liikennekatkoaika			
2-6 tuntia			
6-12 tuntia			
12-24 tuntia	X		X
yli 24 tuntia		X	
Rakentamiskustannukset			
Pienet			
Keskisuuret	X	X	X
Suuret			
Liikennehaittakustannukset			
Pienet			
Keskisuuret	X		X
Suuret		X	
Tekninen vaativuus			
Helppo			
Vaativa	X	X	X
Erittäin vaativa			
Korjaustuloksen kestävyys			
Muutama vuosi			
Kymmeniä vuosia	X	X	X
Materiaalin kuljetus			
Vähän			
Jonkin verran	X		
Paljon		X	X
Tarvitaan erikoiskalustoa			
Kyllä	X		X
Ei		X	

* Matalalla penkerellä. Jos pengeri on korkea, tapauskohtaisesti liikennekatkoksia ei välttämättä tarvita ollenkaan.

Taulukoiden 2 ja 3 perusteella jokaisessa menetelmässä on sekä hyviä että huonoja puolia, eikä mikään menetelmä varsinaisesti erotu paremmuudellaan. Vähän liikennöidyille rataosille, joilla rataa kohdistuva rasitus ei ole yhtä suurta kuin pääradoilla, menetelmiä kuten tyhjätilan täyttöä kevytsoralla voidaan ehkä suositella. Teräsponttilevyn tunkkaus-menetelmä on sekä edullinen että liikennehaittakustannuksiltaan pieni. Pitkäikäisen tuloksen aikaansaamiseksi järeämmät menetelmät kuten (asfaltti)betonilaatan valaminen paaluhattujen päälle ovat hyviä. Nämä menetelmät vaativat tosin pitkiä raidevarausaikoja ja ovat varsin hintavia. Vaakaan

asennettavien kalkkisementtipilarien avulla voitaisiin mahdollisesti aikaansaada pysyvä korjaus ilman raidevarausta korkealla penkereellä. Tämä menetelmä on vielä ideointi-asteella ja vaatii enemmän tutkimusta, ennen kuin siihen voidaan ottaa enemmän kantaa. Teräsbetonilaatan valu UPAS-apusiltojen alla vaatii lyhyen raidevarauksen. Tosin raiteen nopeusrajoitus aika kyseisellä menetelmällä on pitkä. UPAS-apusiltojen yli ei voi ajaa täydellä nopeudella. Menetelmä on rakentamiskustannuksiltaan kallis, mutta liikennehaittakustannuksiltaan suhteellisen edullinen. UPAS-menetelmien hinta riippuu pitkälti siitä, miten pian UPAS-laitteiston hankintahinta on budjetoitu kuolettavaksi. UPAS-apusiltoja ei ole vielä hankittu. Kun laitteisto on valmiina, sen käyttöhintaa rakennuskohdasta kohden laskettuna pienenee. Työmenetelmien kehittyessä kustannukset todennäköisesti laskevat. On myös tarpeen huomioda, että niissä menetelmissä, joissa pengertä ei poisteta, ei myöskään paaluhattuja oikaista. Eli jos paaluhattut ovat siirtyneet paljon alkuperäisestä asemasta, ehkä ainoastaan sellainen menetelmä, jossa pengertä uusitaan, soveltuu korjaustyöhön.

6.2 Johtopäätökset

Paaluhatturakenteiden korjauksiin liittyvien kokemusten perusteella voidaan todeta muutamia asioita. Tyhjän tilan täyttö toimii korjausmenetelmänä, jos painumat eivät enää täytön jälkeen jatku. Teräspontin lyöminen paaluhattujen yläpuolelle on esimerkkikohteessa toiminut hyvin. Esimerkkikohteessa uuden penkereen vasemman reunan alapuolella oleva turve on puristunut kokoon vanhan penkereen luiskan kuormittamana ja siksi teräspontit lyötiin vain sille puolelle missä painumia vielä esiintyy. Vastaavissa kohteissa menetelmä toimisi todennäköisesti hyvin. Kummatkaan näistä menetelmistä eivät vaadi pitkiä raidevarauksia ja ovat jo siksi edullisempia. Vakavammin vaurioituneessa kohteessa kannattaa harkita perusteellisempaa korjausta ja penkan auki kaivamista. Niihin kohteisiin, joihin stabilointielementtejä on asennettu, kyseinen menetelmä on ollut varsin luotettava ja vakaa.

Muut raportissa esitetyt menetelmät ovat työryhmän mielestä kehityskelpoisia, mutta vaativat osakseen vielä tutkimus- ja kehitystyötä. Liitteessä 4 on esitetty eri menetelmiä vertaileva taulukko.

Asiaan perehtyneinä työryhmä kokee, että paaluhatturakenteet eivät sovellu kaikkiin niihin tilanteisiin, joihin niitä on Suomessa sovellettu. Kohteen painumaolosuhteet tulisi ennen niiden käyttöä selvittää tarkoin. Erityistä huomiota tulisi kiinnittää maalajeihin, pohjavedenpinnan pitkäaikaiseen käyttäytymiseen, tarvittavaan työalustaan jne. Kuitenkin oikein rakennettuna ja oikealle pohjamaalle asennettuina paaluhatturakenne voisi myös tulevaisuudessa olla toimiva ratkaisu.

VIITELUETTELO

- /1/ Harjula, H. 1995. Lemunsuo II:n paaluhattualueen korjaus Ervelä Km 118+978,6...Km 119+831,2. VR Ratayksikkö/Geo. 10.3.1995. 4s.+2 liites.
- /2/ Merinen, P. 2004. Kirkkonummi–Turku, paaluhattuselvitys. Tarveselvitys. Oy VR-Rata Ab. 15.9.2004. 13 s.
- /3/ Suomalainen, J. 1997. Maarakennustöiden työkohtainen työselitys rataosan Helsinki–Turku paaluhattukenttien korjauksesta välillä Km 43+642-159+798. Oy VR-Rata Ab. 7.4.1997.
- /4/ Statens vegvesen. 1995. Veg på bløt grunn. Nr. 188 i Vegvesenets håndbokserie. Oslo, syyskuu 1995.
- /5/ Tiehallinto. 2004. Rakenteen parantamissuunnittelua edeltävät maatumkatutkimukset ja tulosten esitystapa – menetelmäkuvaus. Helsinki 2004.
- /6/ Haastattelut; Leevi Koponen, Geo-Work Oy 13.4.2006, Mika Silvast, Roadscanners Oy 2.5.2006 ja Pekka Hänninen, Geologinen tutkimuskeskus 8.5.2006
- /7/ Vägverket. 1995. Allmän teknisk beskrivning. Bankpålning. Publ. 1994:68. Borlänge 1995.
- /8/ Matela, E. 2005a. Sisäisiä muistioita ja luonnoksia. Oy VR-Rata Ab.
- /9/ Tiehallinto. 2001. Paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden suunnitteluohje. Helsinki 2001.
- /10/ Jääskeläinen Heikki, Rathmayer Hans 1975. Paaluhattujen käyttö tie- ja rautatiepenkereissä. Otaniemi 1975.
- /11/ Ratahallintokeskus, 2002. Ratatekniset määräykset ja ohjeet (RAMO) osa 3 Radan rakenne.
- /12/ Ratahallintokeskus, 1999. Rautatien maarakennustöiden yleinen työselitys ja laatuvaatimukset (RMYTL) osa 3 Perustamis- ja vahvistamistyöt.

PAALUHATTURAKENTEET VÄLILLÄ HELSINKI–TURKU

Ratuaosa	AlkuKm	LoppuKm	Pituus [m]	Pohjamaun laatu (kaivakuorellinen savi/eloperäinen)	Puolujen k/k-väli	Hattujen koko	Hattujen vapaa väli	Liittyvät piirustukset	Tiedossa olevat ongelmat rakentamisen yhteydessä	Lisätietoja
Kirkkonummi-Siuntio	037+490	037+830	340	kk-savi				4034/13066/5-25		
	038+160	038+550	390	kk-savi				2787/6450, 4034/13066/5-25		
	039+642			kk-savi				4034/12124/1, 4034/13066/5-25		
Vuohimäki-Kela rataoikaisu	041+450	041+597	147	eloperäinen	2,1/2,4	1,6x1,6/1,8x1,8	0,5/0,6	4747/11824-25,11898b,11854b,11856b		Vuohimäki-Kela -oikaisu korjattu
	041+920	041+987	67	eloperäinen	2,1/2,4	1,6x1,6/1,8x1,8	0,5/0,6	4747/11823-11864		Korjattu
	042+800	042+980	180	eloperäinen	2,1/2,4	1,6x1,6/1,8x1,8	0,5/0,6	4747/11876		
	043+190	043+374	184	eloperäinen	2,1/2,4	1,6x1,6/1,8x1,8	0,5/0,6	4747/11823-11864		43+190-43+313 tyhjätilan täyttö kevytsoralla, suunn. TCr 2002
	043+370	043+450	80	eloperäinen	2,1/2,4	1,6x1,6/1,8x1,8	0,5/0,6	4747/11847-52		
Kela-Siuntio rataoikaisu	043+641	043+835	194	eloperäinen	2,1	1,6x1,6	0,5	4747/11856b,11857b		43+642-43+885 korjattu kevytsoralla
	043+830	044+015	185	eloperäinen	2,1/2,4	1,6x1,6/1,8x1,8	0,5/0,6	4747/11858b		
	044+036	044+147	111	eloperäinen	2,1	1,6x1,6	0,5	4747/11823-11864, Rty/Geo 29/94		
	044+760	045+180	420	eloperäinen	2,1/2,4	1,6x1,6/1,8x1,8	0,5/0,6	4034/12118A/41-43		
	048+128	048+262	134	kk-savi		1,6x1,6/1,4x1,4/1,2x1,2		12118/A2-30,34		
	048+293			kk-savi				4034/12140		
	048+320	048+452	132	kk-savi		1,4x1,4/1,2x1,2		12118/A27,31-33,35,37		
	048+760	048+960	200	kk-savi				4034/12127,12118/B69,A38,55		Ängesbyn alikulkusilta
	048+960	049+100	140	kk-savi	1,9/2,0	1,2x1,4		4034/12118A/38,53-72		Siuntiojoen ratasilta, 49+000-49+550 korjattu kevytsoralla
	049+100	049+500	400	kk-savi	2,0/2,1	1,4x1,6/1,6x1,6		4034/12118A/B40,63-67,70-72		49+000-49+550 korjattu kevytsoralla
Päivölan oikaisu	049+600	049+840	240	kk-savi				4924/12118A		
	051+474	051+707	233	kk-savi	1,8/2,1	1,4x1,4/1,6x1,6	0,4/0,5	12118/A76-79,82, Rkt 1202/342/84		
	051+700	052+100	400	kk-savi	2,1	1,6x1,6	0,5	4034/12118/A76-78,80-81		
	057+587	057+659	72	eloperäinen		1,0x1,0/1,2x1,2		4671/11543		
	058+295	058+361	66	kk-savi	2	1,4x1,4	0,6	4671/11544,11493,11496		
	058+867	058+917	50	kk-savi				4671/11545,11498		
Inkoon ratapihan perusparannus	071+520	071+615	95	liejuinen savi	1,5pituus s/1,3poik kisu	1,2x1,2	0,3/0,1	Rkkt1/342/86, 12077/A1,2,3,8		
	071+780	071+950	170	liejuinen savi	1,5pituus s/1,3poik kisu	1,2x1,2	0,3/0,1	Rkkt1/342/86, 12077/A1,5,7,8		
Kaunislahden oikaisu	079+745	079+910	165	liejuinen savi	1,7	1,2x,12	0,5	4551/110698-110670		

LIITE 1

Ratuoja	AlkuKm	LoppuKm	Pituus [m]	Pohjamaan laatu (kuivakuorellinen savi/eloperäinen)	Paalujen k/k-väli	Hattujen koko	Hattujen vapaa väli	Liittyvät piirustukset	Tiedossa olevat ongelmat rakentamisen yhteydessä	Lisädittoja
	080+800	080+928	128	eloperäinen	2,1	1,6x1,6	0,5	2574/10625,10626		
Karjaa-Pohjankuru rataoikaisu	095+024	095+100	76	kk-savi	1,9	1,4x1,4	0,5	12400/A14		
Pohjankuru-Kuovila rataoikaisu	096+567	096+705	138	liejuinen savi	1,9/2,0	1,4x1,4	0,5/0,6	12352/I-10		Fiskarsin oikaisu, pengertäyte painunut syvään, alla liejuinen savi
Torkkilan suo	116+543	118+070	1527	eloperäinen	2,0/2,1	1,6x1,6/1,7x1,7	0,4	13199/A1,12449/B1- 5,T81456,21,22,24,26,27,30,31		116+550-118+330 korjattu kevyisoralla, 116+660-118+000 poistunut oikaisun yhteydessä
	118+070	118+260	190	eloperäinen	2,1	1,8x1,8	0,3	2185/5327B,12449/B4,T81456,28,31,32		116+550-118+330 korjattu kevyisoralla
	118+260	118+441	181	eloperäinen	2,1	1,8x1,8	0,3	12449/B2,A5,T81456,25,28,29,32,33		116+550-118+330 korjattu kevyisoralla
Lemunsuo	118+836	120+760	1924	eloperäinen	2,1	1,8x1,8	0,3	13202/A1,13202/A2-9, 12182A10- 11/T81363,104....109		119+850-120+760 korjattu kevyisoralla
Perniön oikaisu	128+438	129+328	890	kk-savi	2,0/2,1	1,6x1,6/1,8x1,8	0,4/0,3	12378		Perniön oikaisun työselitys loppuu 128+380
	129+480	129+678	198	kk-savi	2,1	1,8x1,8	0,3			
	129+820	130+238	418	kk-savi	2,1	1,8x1,8	0,3			
	130+890	131+335	445	kk-savi	2,1	1,8x1,8	0,3			
Pohjanjärven oikaisu	131+846	131+877	31	kk-savi	2,1	1,8x1,8	0,3	12632/A3,20,34,35,43		penkereen oikea reuna paalutettu/kaivupaalulaatta
	131+901	131+940	39	kk-savi	2,1	1,8x1,8	0,3	12632/A3,19,20,34,35,43		
	131+973	131+993	20	kk-savi	2,1	1,8x1,8	0,3	12632/A3,21-25,36-39,44		
	132+071	133+400	1329	kk-savi	2,3	2,0x2,0	0,3	12632/A4-7,26-30,44,45,5912		
	133+610	133+800	190	kk-savi	2,3	2,0x2,0	0,3	12632/B50,A8,97,A30,5912		pengerialustus, paaluhatut tai paalulaatta/maaleikkaus
	133+830	133+930	100	kk-savi	2,3	2,0x2,0	0,3	12632/B9,A49		
Tottolan oikaisu	133+980	134+540	560	kk-savi	2,3	2,0x2,0	0,3	12650/A1,27		
	134+640	135+410	770	eloperäinen	2,1	1,8x1,8	0,3	12650/A5,14		
	135+450	135+610	160	eloperäinen	2,1	1,8x1,8	0,3	12650/A14,33		
	136+510	136+590	80	eloperäinen	2,1	1,8x1,8	0,3	12650/A39		
Halikon oikaisu	146+513	146+530	17	kk-savi	2,3	2,0x2,0	0,3	12968/A1,8,9,38,102,124		Suunnitelma paaluhatuille, joka muutettu rakentamisvaiheessa siemilataksi
	146+551	146+785	234	kk-savi	2,3	2,0x2,0	0,3	12968/A1,8,9,38,102,124		Suunnitelma paaluhatuille, joka muutettu rakentamisvaiheessa siemilataksi

LIITE 1

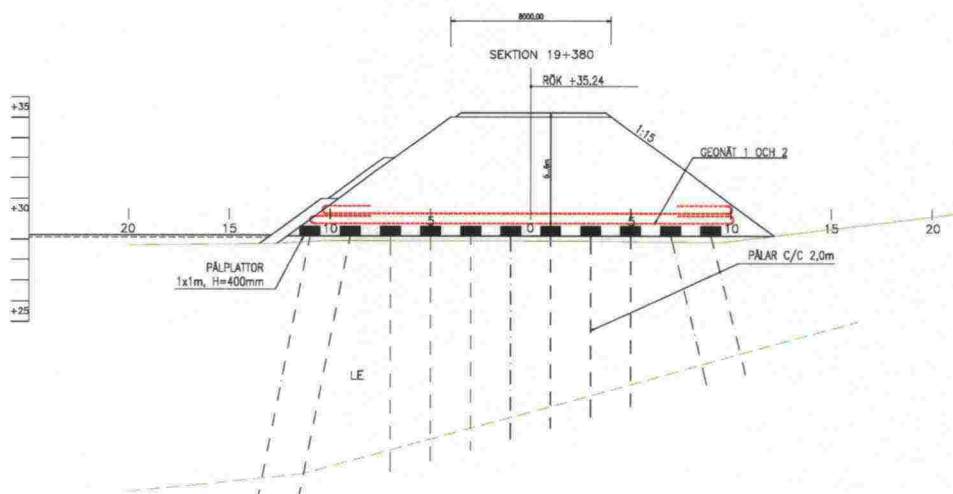
Rataosa	AlkuKm	LoppuKm	Pituus [m]	Poliijimaan laatu (kaivakuorellinen savi/eloperäinen)	Paalujen k/k-väli	Hattujen koko	Hattujen vapaa väli	Liittyvät pirstukset	Tiedossa olevat ongelmat rakentamisen yhteydessä	Lisittelyä
	147+059	147+290	231	kk-savi	1,9-2,3	2,0x2,0/1,8x1,8/1,6x1,6		12968/A2,10-14,45-47,105,106,125		Suunitelma paaluhatuille, joka muutettu rakentamisvaiheessa senilaataksi
	147+481	147+576	95	kk-savi	2,1	1,8x1,8	0,3	12698/B2,12-14,50,51,107,108		Suunitelma paaluhatuille, joka muutettu rakentamisvaiheessa senilaataksi
	147+671	147+958	287	kk-savi	2,3	2,0x2,0	0,2	12698/2,3,12-18,53-58,108-110; 6244/31-32		Suunitelma paaluhatuille, joka muutettu rakentamisvaiheessa senilaataksi
	148+359	148+800	441	kk-savi	2,0/2,3	1,8x1,8/2,0x2,0	0,2/0,3	12968/A3,4,17-20,62-70,111-113,126		Suunitelma paaluhatuille, joka muutettu rakentamisvaiheessa senilaataksi
	148+880	149+020	140	kk-savi	2,3	2,0x2,0	0,3	12968/A4,21-22,71-73,114,126		Suunitelma paaluhatuille, joka muutettu rakentamisvaiheessa senilaataksi
	149+428	149+523	95	kk-savi	2,3	2,0x2,0	0,3	12968/A5,23-26,49-81,115		Suunitelma paaluhatuille, joka muutettu rakentamisvaiheessa senilaataksi
	149+569	149+740	171	kk-savi	1,9	1,6x1,6	0,3	12968/A5,24-26,81-83,116-117,127		Suunitelma paaluhatuille, joka muutettu rakentamisvaiheessa senilaataksi
	149+810	149+869	59	kk-savi	1,9/2,1	1,6x1,6/1,8x1,8	0,3	12968/A5,B24-26,A83-85,B118		Suunitelma paaluhatuille, joka muutettu rakentamisvaiheessa senilaataksi
	149+932	150+162	230	kk-savi	1,9/2,1/2,3	1,6x1,6/1,8x1,8/2,0x2,0	0,3	12698/A5,B27-28,A86-91,B119,A120		Suunitelma paaluhatuille, joka muutettu rakentamisvaiheessa senilaataksi
	150+500	150+603	103	kk-savi	2,3/2,1	2,0x2,0/1,8x1,8	0,3	12698/A6,30-32,94-95,121		Suunitelma paaluhatuille, joka muutettu rakentamisvaiheessa senilaataksi
	150+680	150+843	163	kk-savi	2,1/2,3	1,8x1,8/2,0x2,0	0,3	12698/A6,30-34,95-98,122		Suunitelma paaluhatuille, joka muutettu rakentamisvaiheessa senilaataksi
	150+843	150+989	146	kk-savi	2	1,7x1,7	0,3	12698/A6,33-34,98-99,123,128		Suunitelma paaluhatuille, joka muutettu rakentamisvaiheessa senilaataksi
Pitkänkaaren oikaisu	150+890	151+150	260	kk-savi	2	1,6x1,6	0,4	4034/12312/A1-2,12-17,35-38,104,107		
	153+600	153+660	60	kk-savi	1,7-1,9	1,2x1,2/1,4x1,4	0,5	4034/12312/A7,18-20,80,106,108		
	154+360	154+610	250	kk-savi	1,6/2,0/1,7	1,4x1,4/1,6x1,6/1,2x1,2	0,4/0,3	4034/12312/A8-9,21-26,89-93,106,109		
	154+810	155+025	215	kk-savi	1,9/2,0	1,4x1,4/1,6x1,6	0,5/0,3	4034/12312/A9,27-29,98-100,106,110		
Hajalan oikaisu	156+139	156+320	181	kk-savi	2,0/2,1	1,6x1,6/1,8x1,8	0,4/0,3	12355/B1-2,3,7/A8,9,9775		
Tönnäperin oikaisu	159+740	159+798	58	kk-savi	2,1	1,8x1,8	0,3	T81444,12,13,71		
	160+225	160+342	117	kk-savi	2,1	1,8x1,8	0,3	T81444,5,55,56,25-37,74,75		
Uiton oikaisu	187+820	188+100	280	kk-savi	2,1	1,4x1,4	0,7	Gq3077/II, 3837/8835,8838		
		Yhteensä	18145							

KUVAUS PAALUHATTURAKENTEESTA JA SIIHEN LIITTYVISTÄ ONGELMISTA RUOTSISTA

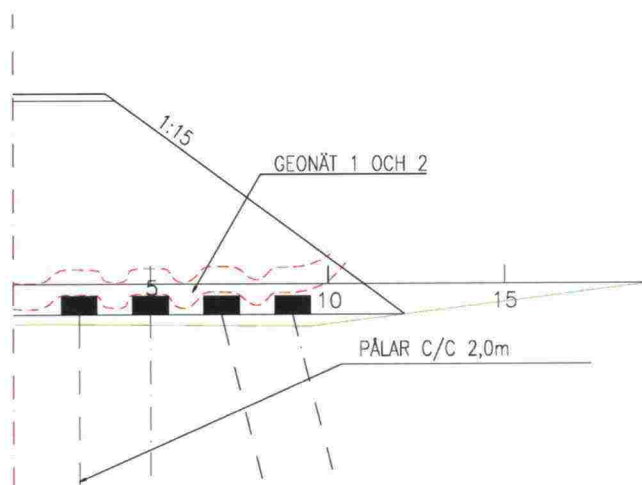
Vaurio havaittiin painumina ja lähemmällä tarkastelulla huomattiin penkereen luiskaosalla näkyviin tulleet lujiteverkkojen päät. Verkkojen reunat olivat alun perin taitettuina penkereen sisään kaksi metriä. Lujiteverkko on näin ollen pullistunut ja valunut penkereen painosta hattujen väliin niin paljon, että kahden metrin käänteet kääntyivät suoriksi ja päät ovat näkyvissä.

Kohteen tietoja lyhyesti:

- paaluhatturakennetta rakennettu n. 140 m:n matkalle
- pengerpaksuus vaihtelee välillä 5–6,5 m
- paalut standardi TB-paaluja 270x270 mm², Psall.max = 680 kN
- paalut lyöty k/k 2,0 m:n ruutuun. Leveimmällä kohdalla on 11 riviä paaluja
- pengerleveys penkereen yläpinnassa n. 8,0 m
- paaluhatut neliön muotoisia 1x1 m², h = 400 mm
- paaluhattujen peittoaste 25 %
- hattujen päällä kaksi kerrosta lujiteverkkoa, 1 verkko tasolla +100 ja toinen +600
- lujitteen karakteristinen lujuus viruman jälkeen = 40 kN/m, alkuvenymä 6 % ja loppuvenymä + 2 % (TexGrid 75-75)
- penkereen luiskassa on lujitteen reuna käännetty n. 2 m
- jakavakerros min. 1,5 m paksu, mursketta # 0...200 mm
- hatun yläpinnan ja alimman lujitteen välinen täyttö # 0...80 mm
- muu täyte louhetta
- perusmaa 2–9 m paksu pehmeä savikerros, su = 10 kPa ja jopa sen alle.



Kuva 1. Kohteen poikkileikkaus



Kuva2. Hahmotelma Ruotsin kohteen vauriosta

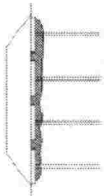
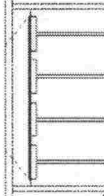
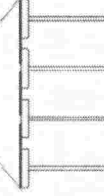
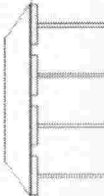
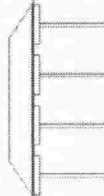
Korjausmenetelmää ei ole päätetty. Banverketin edustaja arvioi, että eräs mahdollinen syy saattaa olla urakoitsijan työnaikaisten apupenkkojen ja työalustojen virheelliset sijoittelut ja niiden massiivisuudet pohjamaan lujuuteen nähden. Selvitystyö on tällä hetkellä vielä kesken.


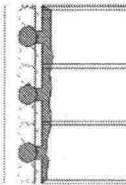
Lujiteverkko ja sen ominaisuudet tullaan tutkimaan. Lujiteverkon lujuus- ja venymisominaisuuksista on esitetty epäilyjä.



Kuva3. Valokuva kohteen hattujen välistä.

RAPORTISSA ESITETYT KORJAUSMENETELMÄT

Kuva	Menetelmä	Raidemaal	Suunnittelu ja tutkimusvaatimukset työsuoritukselle		Kokemukset	+	-	Vaatii kunnossapitoa
			Tutkimukset	Suunnittelu/toteutus				
	Tyhjätien täyttö	<ul style="list-style-type: none">• Lyhyt• Ei vaadi penkereen poistoa	<ul style="list-style-type: none">• tyhjätien paikantaminen paaluhattujen alta• paaluhattujen sijainnin ja korkeusaseman paikantaminen	<ul style="list-style-type: none">• Menekin seuranta• Työmenetelmäsuunnitelma	Ei pysyvä korjaustoimenpide Vähentää raiteen tukemistarvetta.	<ul style="list-style-type: none">• Edullinen• Lyhyt raidevaraus	<ul style="list-style-type: none">• Painumien jatkuessa toimenpide uusittava	X
	Teräsponttilevy	<ul style="list-style-type: none">• Lyhyt• Ei vaadi penkereen poistoa	<ul style="list-style-type: none">• tyhjätien paikantaminen paaluhattujen alta• paaluhattujen korkeusaseman paikantaminen	<ul style="list-style-type: none">• Rakennesuunnitelma• Työmenetelmäsuunnitelma	Esimerkkikohteesta hyvät kokemukset	<ul style="list-style-type: none">• Edullinen• Lyhyt raidevaraus	-	X
	UPAS ja teräsbetonilaatta	<ul style="list-style-type: none">• Lyhyt• Vaatii penkereen poiston	<ul style="list-style-type: none">• Paalukohtaiset pohjatutkimukset	<ul style="list-style-type: none">• Rakennesuunnitelma• UPAS-kaluston suunnittelu	Tästä menetelmästä ei ole kokemuksia	<ul style="list-style-type: none">• Pitkäikäinen• Lyhyt Raidevaraus	<ul style="list-style-type: none">• Pitkät nopeusrajoitusajajat	
	Stabilointilaattaelementit	<ul style="list-style-type: none">• Keskipitkä• Vaatii penkereen poiston	-	<ul style="list-style-type: none">• Alustantasaussuunnitelma• Elementtikaaviot• Työmenetelmäsuunnitelma	Tällä menetelmällä korjatut kohteet ovat toimineet halutulla tavalla?	<ul style="list-style-type: none">• Pitkäikäinen• Valmiit elementit eivät vaadi sitoutumisaikaa	<ul style="list-style-type: none">• Pitkä raidevaraus	
	Teräsbetonilaatta	<ul style="list-style-type: none">• Varsin pitkä• Vaatii penkereen poiston	-	<ul style="list-style-type: none">• Alustantasaussuunnitelma• Rakennesuunnitelma• Lujuuslaskelmat	Tästä menetelmästä ei ole kokemuksia	<ul style="list-style-type: none">• Pitkäikäinen	<ul style="list-style-type: none">• Betoni vaatii sitoutumisaikaa• Pitkä raidevaraus• Vaatii nopeasti kovettuvan sementin	
	Asfalttibetonilaatta	<ul style="list-style-type: none">• Keskipitkä• Vaatii penkereen poiston	-	<ul style="list-style-type: none">• Alustantasaussuunnitelma• Rakennesuunnitelma	Tästä menetelmästä ei ole kokemuksia	<ul style="list-style-type: none">• Pitkäikäinen.• Asfaltti-betoni ei vaadi betonin sitoutumisaikaa.	<ul style="list-style-type: none">• Pitkä raidevaraus	

Kuva	Menetelmä	Raidevaraus	Suunnittelu ja tutkimusvaatimukset työsuoritukselle		Kokemukset	+	-	Vaatii kunnossa -pitoa
			Tutkimukset	Suunnittelu/toteutus				
	Arinarakenne	<ul style="list-style-type: none">• Lyhyt• ei vaadi penkereen poistoa	<ul style="list-style-type: none">• tyhjätilan paikantaminen• paaluhattujen alta• paaluhattujen sijainnin ja korkeusaseman paikantaminen	<ul style="list-style-type: none">• Työmenetelmäsuunnitelma	Menetelmästä ei ole kokemusta	<ul style="list-style-type: none">• Ei raidevarausta	<ul style="list-style-type: none">• Menetelmän epävarmuus	X
	Suihkupaalutus vaakaan	<ul style="list-style-type: none">• vaihtelee*• ei vaadi penkereen poistoa	<ul style="list-style-type: none">• tyhjätilan paikantaminen• paaluhattujen alta• paaluhattujen sijainnin ja korkeusaseman paikantaminen	<ul style="list-style-type: none">• Työmenetelmäsuunnitelma• Rakennesuunnitelma	Tästä menetelmästä ei ole kokemuksia	<ul style="list-style-type: none">• Raidevaraus*	<ul style="list-style-type: none">• Pintamateriaalin sotkeutuminen	X

• Korkealla penkalla ei raidevarausta lainkaan, jos voidaan todeta, että tärinä ei häiritse betonin sitoutumista. Matalalla penkalla jopa yli 24 h.

RATAHALLINTOKESKUKSEN JULKAISUJA A-SARJASSA

- 1/2002 Ratarakenteen routasuojaus
- 3/2002 Rautatietasoristeysten turvaamis- ja poistostrategia 2020
- 4/2002 Rautateiden maanvaraiset pylväasperustukset, lisensiaatintutkimus
- 5/2002 Raiteentarkastus ja siinä ilmenevien virheiden analysointi välillä Kirkkonummi–Turku
- 6/2002 Kerava–Lahti-oikoradan sosiaalisten vaikutusten arviointi
- 7/2002 Rataverkon tavaraliikenne-ennuste 2025
- 8/2002 Puomillisten tasoristeysten turvallisuus
- 9/2002 Vartioimattomien tasoristeysten turvallisuus
- 10/2002 Ratarumpututkimus, mallinnus
- 1/2003 Katsaus Ratahallintokeskuksen tutkimus- ja kehittämistoimintaan
- 2/2003 Instrumentation and Modelling of Railway Culverts
- 3/2003 Rautatieliikenteen onnettomuuksien ja vaaratilanteiden raportoinnin kehittäminen
- 4/2003 Henkilöliikenneasemien esteettömyyskartoituksen tuloksia
- 1/2004 Tavaraliikenteen ratapihavisio ja -strategia 2025
- 2/2004 Rautateiden kaukoliikenteen asemien palvelutaso ja kehittämistarpeet
- 3/2004 Rautatieinfrastruktuurin elinkaarikustannukset
- 4/2004 Murskatun kalliokiviaineksen hienoneminen ja routivuus radan rakennekerroksissa
- 5/2004 Radan kulumisen rajakustannukset vuosina 1997 – 2002
- 6/2004 Marginal Rail Infrastructure Costs in Finland 1997 – 2002
- 7/2004 Ratakapasiteetin jakamisen vaatimukset ja liikenteen suunnittelun tila
- 8/2004 Stabiiliteetiltaan kriittiset ratapenkereet, esitutkimus
- 9/2004 Ratapenkereitten leveys ja luiskakaltevuus, esitutkimus
- 10/2004 Lähtökohtia ratapihojen kapasiteetin mittaamiseen
- 1/2005 Sähköratamaadoitusten perusteet – suojarakenteet, rakennukset ja laiturirakenteet
- 2/2005 Kerava–Lahti-oikoradan ennen-jälkeen vaikutusarviointi, ennen-vaiheen selvitys
- 3/2005 Ratatietojen kuvaaminen – ratatietokanta ja verkkoselostus
- 4/2005 Kaakkois-Suomen rataverkon tavaraliikenteen kehittäminen
- 1/2006 Ratahallintokeskuksen tutkimus- ja kehittämisstrategia
- 2/2006 Rautatie ja sen vaarat osana lasten ympäristöä
- 3/2006 Matkustajainformaatiojärjestelmien arviointi Tampereen, Toijalan ja Hämeenlinnan rautatieasemilla
- 4/2006 Radan välityskyvyn mittaamisen ja tunnuslukujen kehittäminen
- 5/2006 Deformation behaviour of railway embankment materials under repeated loading
- 6/2006 Research and Development Strategy of the Finnish Rail Administration
- 7/2006 Rautatieliikenne 2030 -suunnitelman lähtökohdat ja vaikutustarkastelut



**RATAHALLINTOKESKUS
BANFÖRVALTNINGSCENTRALEN**

Julkaisija:
Ratahallintokeskus
Keskuskatu 8, PL 185, 00101 Helsinki
puh. 020 751 5111, fax 020 751 5100
www.rhk.fi

ISBN 952-445-157-3 (nid.)
ISBN 952-445-158-1 (pdf)
ISSN 1455-2604